





**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkeinrichtung (20) bereit, welches dadurch gekennzeichnet ist, daß ein digitaler PWM-Modulator (17) mit einem frequenzvariablen Systemtakt (18) betrieben wird. Die vorliegende Erfindung stellt ebenfalls eine Vorrichtung zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkeinrichtung (20) bereit.

## Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkereinrichtung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkereinrichtung, und insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Treiberschaltung eines Klasse D-Leistungsverstärkers.

10

Ein Pulsweiten-moduliertes Signal (PWM-Signal) weist seine Signalinformationen in der Pulsweite und nicht in der Amplitude auf. Deshalb werden zur Verstärkung eines PWM-Signals im allgemeinen Schalter, wie beispielsweise Relais, Schalttransistoren, Thyristoren, Triax, eingesetzt. Die Schalteinrichtungen schalten dabei eine Last abwechselnd zwischen zwei Potentialen im Regelfall einer Versorgungsspannung und einem Bezugspotential, wie beispielsweise Masse, wobei die Zeitdauer des Ein- bzw. Ausschaltzustands über die Pulsweite bestimmt wird.

15

20

Derartige Schalter weisen jedoch kein ideales Schaltverhalten auf, d.h. es treten Fehler auf, welche durch das Schalten an sich entstehen, wie beispielsweise Schaltverzögerungen, Anstiegs- und Abfallzeiten (timing error). Darüber hinaus stellt die Versorgungsspannung eine weitere Fehlerquelle dar (power supply error), da sich Störspannungen auf der Versorgungsspannung direkt auf die Ausgangssignale der Verstärkereinrichtung auswirken. Zusätzlich stört die über die Schalteinrichtung bzw. Verstärkereinrichtung geschaltete Last selbst die Versorgungsspannung.

25

30

In Klasse D-Leistungsverstärkern wird ein Pulsweiten-moduliertes (PWM)-Signal im Spannungs- und/oder Strompegel angehoben, d.h. verstärkt, um ein Signal zum direkten oder vorgefilterten Treiben einer Last mit einer niedrigen Impedanz,

35

wie z.B. einem Lautsprecher bei Audio-Anwendungen, zu erzeugen. Obwohl das Eingangs-PWM-Signal digital mit einer sehr hohen Qualität, was Verzerrungen und/oder das Signal zu Rauschverhältnis betrifft, erzeugt werden kann, weist die

5 Ausgangsstufe diesbezüglich Limitierungen auf. Es ist weder möglich, eine perfekt digital schaltende Treiberstufe herzustellen, noch ist es möglich, eine Leistungsversorgung für die Treiberstufe ohne Verzerrungen in der Ausgangsspannung bereitzustellen.

10

In der Praxis bedeutet das, daß eine Korrekturschaltung zum Korrigieren der Fehler, welche durch die Leistungsstufe auftreten, erforderlich ist.

15 In der WO 98/44626 wird ein rückgekoppeltes Verfahren beschrieben, welches direkt und zeitkontinuierlich die Pulsweite eines PWM-Signals anpaßt und dadurch die Fehler der Treiberstufe reduziert. Eine Regelgröße steuert dabei direkt eine Korrektureinheit, in der die Pulsweite linear abhängig

20 verändert wird. Dabei wird nicht beachtet, daß der Einfluß der Regelgröße auf das Ausgangssignal von der aktuellen Pulsweite des PWM-Signals abhängt, d.h. eine konstante Timing-Korrektur für kleine Pulsweiten einen erheblich größeren Effekt herbeiführt als für größere Pulsweiten. Praktisch betrachtet bedeutet dies, daß der Regler ständig die Pulsweite

25 nachführen muß, und zwar zusätzlich zum tatsächlich zu korrigierenden Fehler. Ein solches ständiges Nachregeln kann wiederum zu Störsignalen führen und ist folglich möglichst zu reduzieren bzw. zu vermeiden.

30

In der Konferenzveröffentlichung Nr. 393 von S. Logan, M.O.J. Hawksford "Linearization of Class D Output Stages for High Performance Audio Power Amplifiers" der Konferenz Advanced A-D and D-A Conversion Techniques and their Application,

35 6. bis 8. Juli 1994, wird ein Verfahren beschrieben, bei dem die Pulsweite durch eine Verzögerungsleitung mit diskreten Abgriffen nachgeregelt werden kann. Die Regelung an sich

geschieht auch in diesem Fall über eine Feedback-Schleife. Der wesentliche Unterschied zu der WO 98/44626 ist jedoch, daß in der WO 98/44626 die Pulsweite kontinuierlich und in dem Konferenzartikel in diskreten Stufen eingestellt wird.

5

Die WO 00/46919 beschreibt ein Verfahren, bei dem die Fehler der Verstärkerbrücke digital, d.h. vor dem eigentlichen PWM-Modulator, korrigiert werden. Von Nachteil bei diesem Verfahren ist eine eingeschränkte Genauigkeit, d.h. die kleinste Nachregel-Stufe ist durch die Auflösung des PWM-Modulators bestimmt. Darüber hinaus besteht ein Nachteil darin, daß ein A-D-Wandler zur Digitalisierung des Fehlers erforderlich ist.

In der WO 99/45641 wird ein Verfahren beschrieben, bei dem die Pulsweiten-Differenz zwischen einem Eingangs- und einem Ausgangssignal der Ausgangsstufe als Regelgröße zur Korrektur herangezogen wird. Ein Nachteil dieses Verfahrens liegt darin begründet, daß auf diese Weise nur zeitliche Fehler (timing error) der Treiberschaltung erfaßt werden können. Eine Regelung der Pulsweite erfolgt gemäß der Druckschrift über eine Änderung der Amplitude eines dreieckförmigen Referenzsignals.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkereinrichtung bereitzustellen, durch welches alle oben genannten Fehler, welche in einer Treiberschaltung entstehen können, durch eine rückgekoppelte Regelungsschaltung reduziert werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkereinrichtung gemäß Anspruch 1 und einer Vorrichtung zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkereinrichtung gemäß Anspruch 16 gelöst.

35

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee besteht im wesentlichen darin, daß über eine Regelung der Systemtakt-

frequenz eines digitalen PWM-Modulators ein Pulsweiten-  
abhängiges Korrektursignal bereitgestellt wird. Mit diesem  
Korrektursignal läßt sich der ebenfalls Pulsweiten-abhängige  
Einfluß von Störungen auf der Stromversorgung derart regeln,  
5 daß die Pulsweiten-Abhängigkeit davon reduziert wird. Durch  
ein zusätzliches additives Korrektursignal kann die Pul-  
sweiten-Abhängigkeit vollständig eliminiert werden.

Alternativ ist auch eine multiplikative Korrektur, beispiels-  
10 weise über einen zweiten PWM-Modulator, möglich. Theoretisch  
ist auch eine Kompensation von Signal-korrelierten Störungen  
auf der Stromversorgung vorsehbar. Dadurch wird die Realisie-  
rung eines Pulsweiten-unabhängigen Regelkreises zur Korrektur  
von Störungen auf der Versorgungsspannung ermöglicht. Das  
15 heißt, der Regelkreis muß, im Gegensatz zum Stand der Tech-  
nik, nur die tatsächlich auftretenden Fehler in der Treiber-  
schaltung und der Leistungsversorgung korrigieren. Dement-  
sprechend kann entweder der benötigte Dynamikbedarf zur  
Fehlerkompensation reduziert werden oder der Ausregelbereich  
20 im Vergleich mit bisherigen Lösungen vergrößert werden. Alle  
diese Eigenschaften wirken sich positiv auf die erzielbare  
Audio-Qualität und eine Stromeinsparung aus.

In der vorliegenden Erfindung wird das eingangs erwähnte  
25 Problem insbesondere dadurch gelöst, daß ein Verfahren zur  
Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkereinrich-  
tung bereitgestellt wird, mit den Schritten: Erzeugen eines  
digitalen Pulsweiten-modulierten Referenzsignals aus Pulswei-  
ten-modulierten Daten in einem ersten Pulsweiten-Modulator,  
30 welcher mit einem vorbestimmten Systemtakt getaktet und mit  
einer vorbestimmten PWM-Pulsrate getriggert wird; Erzeugen  
eines digitalen Pulsweiten-modulierten Signals aus den Pul-  
sweiten-modulierten Daten in einem zweiten Pulsweiten-  
Modulator, welcher mit einem frequenzvariablen Systemtakt  
35 getaktet und mit der vorbestimmten PWM-Pulsrate getriggert  
wird; Verstärken des digitalen PWM-Signals in der Verstärker-  
einrichtung; Bestimmen einer Verstärkerabweichung aus dem

digitalen PWM-Referenzsignal und dem verstärkten digitalen PWM-Signal; Erzeugen einer Regelgröße aus der Verstärkerabweichung in einer Regeleinrichtung; Zuführen der Regelgröße an einen Steuereingang einer frequenzvariablen Einrichtung; und Erzeugen des frequenzvariablen Systemtakts in der frequenzvariablen Einrichtung.

In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des jeweiligen Erfindungsgegenstandes.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung werden die Pulsweitenmodulierten Daten aus einem digitalen Signal in einer digitalen Schaltung erzeugt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden aus dem digitalen Signal, vorzugsweise einem PCM-modulierten digitalen Audio-Signal, die PWM-Daten derart in der digitalen Schaltung erzeugt, daß mit jedem Takt der vorbestimmten PWM-Pulsrate eine quantisierte PWM-Information, d.h. Pulslänge High-Pegel und Pulslänge Low-Pegel in quantisierter Form, berechnet wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die frequenzvariable Einrichtung ein VCO oder CCO (voltage controlled oscillator oder current controlled oscillator), welcher vorzugsweise ebenfalls mit der vorbestimmten PWM-Pulsrate synchronisiert wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung durchläuft das digitale PWM-Referenzsignal und/oder das verstärkte digitale PWM-Signal eine Filtereinrichtung, bevor die Verstärkerabweichung ermittelt wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die Verstärkereinrichtung mit einer H-Brückenschaltung und/oder als Klasse D-Verstärker ausgelegt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Regeleinrichtung derart ausgelegt, daß die Regelgröße die Frequenz der frequenzvariablen Einrichtung so einstellt, daß die Differenz zwischen dem digitalen PWM-Referenzsignal und dem verstärkten digitalen PWM-Signal minimal wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird das verstärkte digitale PWM-Signal einem akustischen Schallwandler, vorzugsweise über eine Filtereinrichtung, wie insbesondere einem Tiefpaßfilter, zugeführt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird ein gefiltertes Lautsprechersignal, vorzugsweise gefiltert über eine weitere Filtereinrichtung, ebenfalls zum Ermitteln der Verstärkerabweichung aus dem digitalen PWM-Referenzsignal und dem verstärkten digitalen PWM-Signal eingesetzt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird der frequenzvariable Systemtakt mit dem vorbestimmten Systemtakt in einem Phasendetektor verglichen, um eine Phasendifferenz zu ermitteln, welche in einer Filtereinrichtung gefiltert und dann zur Regelgröße addiert wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird der frequenzvariable Systemtakt mit dem vorbestimmten Systemtakt in einem Phasendetektor verglichen, um eine Phasendifferenz zu ermitteln, welche zur Regelgröße addiert und in einer zusätzlichen Filtereinrichtung gefiltert wird, um am Steuereingang der frequenzvariablen Einrichtung angelegt zu werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Phasendifferenz der frequenzvariablen Einrichtung, vorzugsweise einem VCO, über einen Modulationseingang zugeführt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Frequenz des frequenzvariablen Systemtakts des digitalen PWM-Modulators zeitdiskret variiert.



Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Regeleinrichtung derart ausgelegt, daß die Regelgröße die Frequenz der frequenzvariablen Einrichtung so einstellt, daß die Differenz zwischen dem digitalen PWM-Referenzsignal und dem verstärkten digitalen PWM-Signal minimal wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird das verstärkte digitale PWM-Signal einem akustischen Schallwandler, vorzugsweise über eine Filtereinrichtung, wie insbesondere einem Tiefpaßfilter, zugeführt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird ein gefiltertes Lautsprechersignal, vorzugsweise gefiltert über eine weitere Filtereinrichtung, ebenfalls zum Ermitteln der Verstärkerabweichung aus dem digitalen PWM-Referenzsignal und dem verstärkten digitalen PWM-Signal eingesetzt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird der frequenzvariable Systemtakt mit dem vorbestimmten Systemtakt in einem Phasendetektor verglichen, um eine Phasendifferenz zu ermitteln, welche in einer Filtereinrichtung gefiltert und dann zur Regelgröße addiert wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird der frequenzvariable Systemtakt mit dem vorbestimmten Systemtakt in einem Phasendetektor verglichen, um eine Phasendifferenz zu ermitteln, welche zur Regelgröße addiert und in einer zusätzlichen Filtereinrichtung gefiltert wird, um am Steuereingang der frequenzvariablen Einrichtung angelegt zu werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Phasendifferenz der frequenzvariablen Einrichtung, vorzugsweise einem VCO, über einen Modulationseingang zugeführt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Frequenz des frequenzvariablen Systemtakts des digitalen PWM-Modulators zeitdiskret variiert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Frequenz des frequenzvariablen Systemtakts des digitalen PWM-Modulators zeitkontinuierlich variiert.

- 5 Bei der PWM-Modulation werden unterschiedliche Modulationsarten eingesetzt. Sowohl eine einseitige Flankenmodulation (trailing edge, leading edge) als auch eine doppelseitige Flankenmodulation (double edge, differential double edge) ist einsetzbar, wobei die vorliegende Erfindung auf alle diese  
10 Modulationsarten anwendbar ist.

Auch die Treiberschaltung bzw. Verstärkereinrichtung an sich kann sowohl single-ended in Form eines Inverters als auch differentiell als Brücke, d.h. sogenannte H-Brücke bzw. H-  
15 bridge, realisiert werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

20

Es zeigen:

Figur 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Regelungsschaltung zur Erläuterung einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und  
25

Figur 2 ein schematisches Blockschaltbild einer Regelungsschaltung zur Erläuterung einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.  
30

In den Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Bestandteile.

Im schematischen Blockschaltbild gemäß Figur 1 wird ein Signal 10, vorzugsweise ein digitales Audio-Signal, in einer  
35 Signalverarbeitungseinrichtung 11 in PWM-Daten bzw. PWM-Informationen, d.h. Pulslängen High-Pegel und Pulslängen Low-

Pegel in quantisierter Form, umgewandelt. Die Signalverarbeitungseinrichtung 11 ist vorzugsweise eine digitale Schaltung und berechnet aus den vorzugsweise PCM-codierten digitalen Audio-Signalen 10 PWM-Daten 12. Die PWM-Daten 12 weisen vorzugsweise die Eigenschaft auf, daß sie derart berechnet sind, daß mit jedem Takt der PWM-Pulsrate 13 eine quantisierte Pulsweiten-Information berechnet wird. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 beträgt die PWM-Pulsrate 13 beispielsweise 288 kHz und ein vorbestimmter Systemtakt 14 weist eine Frequenz von 88,128 MHz auf.

Ein erster PWM-Modulator 15 erzeugt aus den PWM-Daten 12 ein digitales PWM-Referenzsignal 16, wobei der PWM-Modulator 15 mit einem konstanten vorbestimmten Systemtakt 14 getaktet wird. Der konstante vorbestimmte Systemtakt 14 wird vorzugsweise über einen Quarz-Oszillator oder einen Quarz-Oszillator mit klassischem PLL (phase locked loop) erzeugt (nicht dargestellt). Die PWM-Pulsrate 13 dient dem Triggern des PWM-Modulators 15. Um das digitale PWM-Referenzsignal 16 zu erzeugen, können im PWM-Modulator 15 unterschiedliche Modulationsarten verwendet werden. So besteht der PWM-Modulator 15 bei einer Trailing-Edge-Modulation beispielsweise aus einem einfachen Zähler, welcher zu Beginn der Puls-Periode (PRR) mit dem PWM-Datum 12 vorgeladen wird und dann mit dem vorbestimmten Systemtakt 14 heruntergezählt wird, bis der Zählerstand Null erreicht. Das digitale PWM-Referenzsignal 16 ist dann z.B. Zähler ungleich Null. Die mögliche Anzahl der Pulsweiten-Stufen ist durch die PWM-Pulsrate 13 und den vorbestimmten Systemtakt 14 vorgegeben und beträgt in diesem Beispiel  $88128/288 = 306$  Stufen. Ein Teil dieser 306 Stufen muß für die Pulsweiten-Regelung reserviert werden, so daß z.B. digital effektiv nur 256 Stufen berechnet werden müssen (z.B. im Bereich 25 bis 281).

Ein zweiter PWM-Modulator 17 ist vorzugsweise im wesentlichen gleichartig aufgebaut wie der erste PWM-Modulator 15, wird jedoch mit einem frequenzveränderlichen Systemtakt 18 getak-

tet und erzeugt aus den PWM-Daten 12 ein digitales PWM-Signal 19. Wie auch beim ersten PWM-Modulator 15 ist beim zweiten PWM-Modulator 17 das PWM-Modulationsverfahren einstellbar und beispielsweise auf Trailing Edge eingestellt. Auch der zweite PWM-Modulator 17 ist auf die PWM-Pulsrate 13 synchronisiert. Das digitale Pulsweiten-modulierte Signal 19 wird dann in einer Verstärkereinrichtung 20 verstärkt, welche an eine Versorgungsspannung 21 und ein Bezugspotential 22, z.B. Masse, angeschlossen ist. Die Verstärkereinrichtung 20 bzw. Leistungsstufe ist vorzugsweise als H-Brücke ausgeführt.

Das verstärkte digitale PWM-Signal 23 wird dann vorzugsweise in einer ersten Filtereinrichtung 24 gefiltert und einer Summationseinrichtung 25 bzw. einem Summationsknoten ebenso zugeführt wie das vorzugsweise ebenfalls in einer zweiten Filtereinrichtung 26 gefilterte Referenzsignal 16. Die erste Filtereinrichtung 24 weist dabei eine Übertragungsfunktion  $G_0(f)$  und die zweite Filtereinrichtung 26 eine Übertragungsfunktion  $G_r(f)$  auf. In der Summationseinrichtung 25 wird vorzugsweise eine Subtraktion ausgeführt, wobei das vorzugsweise gefilterte verstärkte digitale PWM-Signal 23 von dem vorzugsweise gefilterten digitalen PWM-Referenzsignal 16 abgezogen wird. In der Summationseinrichtung 25 wird somit eine Verstärkerabweichung 27 bzw. ein Verstärkerfehler ermittelt, welcher in einer Regeleinrichtung 28 beispielsweise mit einer Übertragungsfunktion  $G_c(f)$  in eine Regelgröße 29 umgewandelt wird. Diese Regelgröße 29 wird dann einer frequenzvariablen Einrichtung 30, beispielsweise einem VCO (voltage controlled oscillator) oder einem CCO (current controlled oscillator), an dessen Steuereingang zugeführt. In der frequenzvariablen Einrichtung 30, z.B. einem VCO, wird dann der frequenzvariable Systemtakt 18 erzeugt. Somit wird der zweite PWM-Modulator 17 mit dem geregelten Takt 18 betrieben.

Um ein Jittern des PWM-Pulses um bis zu einer Periode des Taktes der frequenzvariablen Einrichtung 30 zu vermeiden, kann vorzugsweise auch die frequenzvariable Einrichtung 30

mit der PWM-Pulsrate synchronisiert werden. Damit wird sichergestellt, daß der Beginn eines PWM-Pulses z.B. mit einer steigenden Taktflanke beginnt. Der Regler 28 wird in seiner Übertragungsfunktion  $G_c(f)$  so ausgelegt, daß die Regelgröße  
5 29 die Frequenz der frequenzvariablen Einrichtung 30 derart einstellt, daß die Differenz zwischen dem digitalen PWM-Referenzsignal 16 und dem Ausgangssignal 23 der Verstärkereinrichtung 20 minimal wird.

10 Das Ausgangssignal 23 der Leistungsstufe 20 kann direkt oder über eine dritte Filtereinrichtung 31, wie beispielsweise einem passiven Tiefpaßfilter, einem Lautsprecher 32 zugeführt werden. Alternativ bzw. zusätzlich kann das Lautsprechersignal 33 in einer weiteren Filtereinrichtung 26 gefiltert werden  
15 und an der Summationseinrichtung 25 negativ eingekoppelt und somit in den Regelkreis miteinbezogen werden.

In Figur 2 ist ein schematisches Blockschaltbild zur Erläuterung einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt, welches von der Ausführungsform gemäß Figur 1  
20 vor allem darin abweicht, daß die frequenzvariable Einrichtung 30, insbesondere der VCO, in einen PLL (phase locked loop) mit einem Phasendetektor 34 und einer Schleifenfiltereinrichtung 35 (Loopfilter) eingebunden ist. Der frequenzvariable Systemtakt 18 wird in der Ausführungsform gemäß Figur  
25 2 einem Phasendetektor 34 zugeführt, in welchem der frequenzvariable Systemtakt 18 mit dem konstanten vorbestimmten Systemtakt 14 verglichen wird, um eine Phasendifferenz 36 zu detektieren. Diese detektierte Phasendifferenz 36 wird dann  
30 dem Schleifenfilter 35 (Loopfilter) zugeführt, um auf die Regelgröße 29 zum Erzeugen einer abgeänderten Regelgröße 29' aufaddiert zu werden.

Um unabhängig von Fertigungstoleranzen und Temperatureinflüssen zu sein und gleichzeitig eine hohe Empfindlichkeit für  
35 kleine Frequenzänderungen sicherzustellen, bietet es sich an, eine solche PLL-Struktur gemäß Figur 2 anstelle einer reinen

VCO-Struktur gemäß Figur 1 einzusetzen. Die Referenzfrequenz des PLL ist ebenfalls der konstante vorbestimmte Systemtakt 14 und somit wird die Leistungsstufe bzw. Verstärkereinheit 20 mit diesem Referenzsignal 14 angesteuert, wenn die Regelung nicht aktiv ist. Die Regelgröße 29 wird auf ein Schleifenfiltersignal 37 am Ende des Schleifenfilters 35 aufaddiert oder optional auch vor der Schleifenfiltereinrichtung 35 auf die Phasendifferenz 36 aufaddiert (nicht dargestellt). Außerdem besteht die Möglichkeit, stattdessen ein VCO mit einem extra Modulationseingang einzusetzen. Langfristig versucht die PLL-Schaltung, natürlich diese Frequenzänderung zu kompensieren. Die dynamischen Eigenschaften und Zeitkonstanten eines solchen Ausregelvorganges sind durch die Übertragungsfunktion  $F(s)$  des Schleifenfilters 35 bestimmt und können für die Auslegung des Reglers 28 mitgenutzt werden.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand eines digitalen Klasse D-Verstärkers beschrieben wurde, läßt sie sich auch auf beliebige analoge Verstärker übertragen. So spricht man beispielsweise von analogen Klasse D-Verstärkern, wenn das zu verstärkende Signal (19) analog vorliegt. Die Erfindung kann auch bei einem solchen Verstärker-Typ eingesetzt werden. Besonders von Vorteil gestalten sich die Auswirkungen der vorliegenden Erfindung jedoch bei rein digitalen Verstärkern, d.h. wenn das digital vorliegende Signal nicht über einen D-A-Wandler in ein analoges Signal umgewandelt wird.

## Bezugszeichenliste

- 10    Signal, vorzugsweise digitales Audio-Signal, z.B. PCM
- 11    Signalverarbeitungseinrichtung, z.B. digitale Schaltung
- 5    12    PWM-Daten, d.h. PWM-Informationen
- 13    PWM-Pulsrate, z.B. der Frequenz 288 kHz
- 14    vorbestimmter Systemtakt, z.B. der Frequenz 88,128 MHz
- 15    PWM-Modulator
- 16    Referenzsignal
- 10    17    PWM-Modulator
- 18    frequenzvariabler Systemtakt
- 19    digitales PWM-Signal
- 20    Verstärkereinrichtung
- 21    Versorgungsspannung
- 15    22    Bezugspotential, z.B. Masse
- 23    verstärktes digitales PWM-Signal
- 24    Filtereinrichtung, z.B. der Übertragungsfunktion  $G_0(f)$
- 25    Summationseinrichtung
- 26    Filtereinrichtung, z.B. der Übertragungsfunktion  $G_r(f)$
- 20    27    Verstärkerabweichung
- 28    Regeleinrichtung, z.B. der Übertragungsfunktion  $G_c(f)$
- 29    Regelgröße
- 29'    abgeänderte Regelgröße
- 30    frequenzvariable Einrichtung, z.B. VCO
- 25    31    Filtereinrichtung, z.B. Tiefpassfilter
- 32    akustischer Schallwandler, insbesondere Lautsprecher
- 33    Lautsprechersignal
- 34    Phasendetektor
- 35    Schleifenfilter, "Loopfilter" mit Übertragungsfkt.  $F(s)$
- 30    36    Phasendifferenz
- 37    Schleifenfiltersignal

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkereinrichtung (20),  
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass ein digitaler PWM-Modulator (17) mit einem frequenzvariablen Systemtakt (18) betrieben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die folgenden Schritte ausgeführt werden:  
  
Erzeugen eines digitalen PWM-Referenzsignals (16) aus PWM-Daten (12) in einem ersten PWM-Modulator (15), welcher mit  
15 einem vorbestimmten Systemtakt (14) getaktet und mit einer vorbestimmten PWM-Pulsrate (13) getriggert wird;  
  
Erzeugen eines digitalen PWM-Signals (19) aus den PWM-Daten (12) in einem zweiten Pulsweitenmodulator (17), welcher mit  
20 dem frequenzvariablen Systemtakt (18) getaktet und mit der vorbestimmten PWM-Pulsrate (13) getriggert wird;  
  
Verstärken des digitalen PWM-Signals (19) in der Verstärkereinrichtung (20);  
25 Bestimmen einer Verstärkerabweichung (27) aus dem digitalen PWM-Referenzsignal (16) und einem verstärkten digitalen PWM-Signal (23) in einer Summationseinrichtung (25);  
  
30 Erzeugen einer Regelgröße (29) aus der Verstärkerabweichung (27) in einer Regeleinrichtung (28);  
  
Zuführen der Regelgröße (29) an einen Steuereingang einer frequenzvariablen Einrichtung (30); und  
35 Erzeugen des frequenzvariablen Systemtakts (18) in der frequenzvariablen Einrichtung (30).



3. Verfahren nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die PWM-Daten (12) aus einem digitalen Signal (10) in  
5 einer digitalen Schaltung (11) erzeugt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass aus dem digitalen Signal (10), vorzugsweise einem PCM-  
10 modulierten digitalen Audio-Signal, die PWM-Daten (12) derart  
in der digitalen Schaltung (11) erzeugt werden, daß mit jedem  
Takt der vorbestimmten PWM-Pulsrate (13) eine quantisierte  
PWM-Information berechnet wird.
- 15 5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die frequenzvariable Einrichtung (30) ein VCO oder CCO  
ist, welcher vorzugsweise ebenfalls mit der vorbestimmten  
PWM-Pulsrate (13) synchronisiert wird.
- 20 6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das digitale PWM-Referenzsignal (16) und/oder das ver-  
stärkte digitale PWM-Signal (23) eine Filtereinrichtung (24;  
25 26) durchlaufen, bevor die Verstärkerabweichung (27) ermit-  
telt wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 dass die Verstärkereinrichtung (20) mit einer H-Brücken-  
schaltung und/oder als Klasse D Verstärker ausgelegt ist.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
35 dass die Regeleinrichtung (28) derart ausgelegt wird, daß die  
Regelgröße (29) die Frequenz der frequenzvariablen Einrich-  
tung (30) so einstellt, daß die Differenz zwischen dem digi-

talenen PWM-Referenzsignal (16) und dem verstärkten digitalen PWM-Signal (23) minimal wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 8,  
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das verstärkte digitale PWM-Signal (23) einem akustischen Schallwandler (32), vorzugsweise über eine Filtereinrichtung (31) wie insbesondere einem Tiefpassfilter, zugeführt wird.

10

10. Verfahren nach Anspruch 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass ein Lautsprechersignal (33), vorzugsweise gefiltert über eine weitere Filtereinrichtung (26), ebenfalls zum Ermitteln  
15 der Verstärkerabweichung (27) aus dem digitalen PWM-Referenzsignal (16) und dem verstärkten digitalen PWM-Signal (23) eingesetzt wird.

20

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der frequenzvariable Systemtakt (18) mit dem vorbestimmten Systemtakt (14) in einem Phasendetektor (34) verglichen wird, um eine Phasendifferenz (36) zu ermitteln, welche in einer Filtereinrichtung (35) gefiltert und dann zur Regelgröße  
25 ße (29) addiert wird.

30

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der frequenzvariable Systemtakt (18) mit dem vorbestimmten Systemtakt (14) in einem Phasendetektor (34) verglichen wird, um eine Phasendifferenz (36) zu ermitteln, welche zur Regelgröße (29) addiert und in einer zusätzlichen Filtereinrichtung (35) gefiltert wird, um am Steuereingang der frequenzvariablen Einrichtung (30) angelegt zu werden.

35

13. Verfahren nach Anspruch 11,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Phasendifferenz (36) der frequenzvariablen Einrichtung (30), vorzugsweise einem VCO, über einen Modulationseingang zugeführt wird.

5 14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des frequenzvariablen Systemtakts (18) des digitalen PWM-Modulators (17) zeitkontinuierlich variiert wird.

10 15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des frequenzvariablen Systemtakts (18) des digitalen PWM-Modulators (17) zeitdiskret variiert wird.

15 16. Vorrichtung zur Korrektur von Signalverzerrungen in einer Verstärkerschaltung (20) mit:

20 einem ersten Pulsweiten-Modulator (15) zum Erzeugen eines digitalen PWM-Referenzsignals (16) aus PWM-Daten (12), welcher mit einem vorbestimmten Systemtakt (14) getaktet und mit einer vorbestimmten PWM-Pulsrate (13) getriggert wird;

25 einem zweiten Pulsweiten-Modulator (17) zum Erzeugen eines digitalen PWM-Signals (19) aus den PWM-Daten (12), welcher mit einem frequenzvariablen Systemtakt (18) getaktet und mit der vorbestimmten PWM-Pulsrate (13) getriggert wird;

30 der Verstärkereinrichtung (20) zum Verstärken des digitalen PWM-Signals (19);

einer Einrichtung (25) zum Bestimmen einer Verstärkerabweichung (27) aus dem digitalen PWM-Referenzsignal (16) und einem verstärkten digitalen PWM-Signal (23);

35 einer Regeleinrichtung (28) zum Erzeugen einer Regelgröße (29) aus der Verstärkerabweichung (27); und

eine frequenzvariable Einrichtung (30) zum Erzeugen des frequenzvariablen Systemtakts (18) aus der Regelgröße (29).

FIG 1

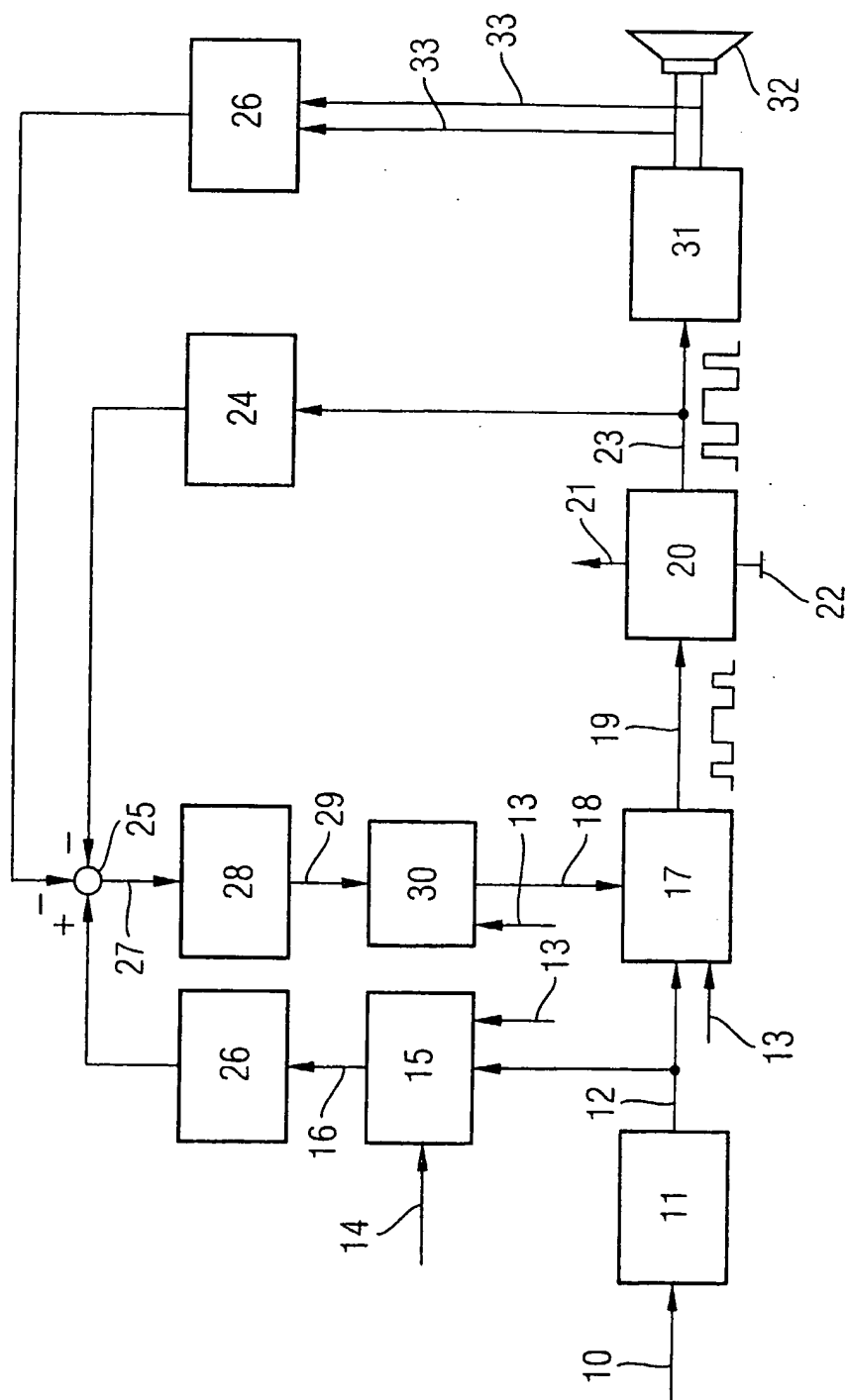
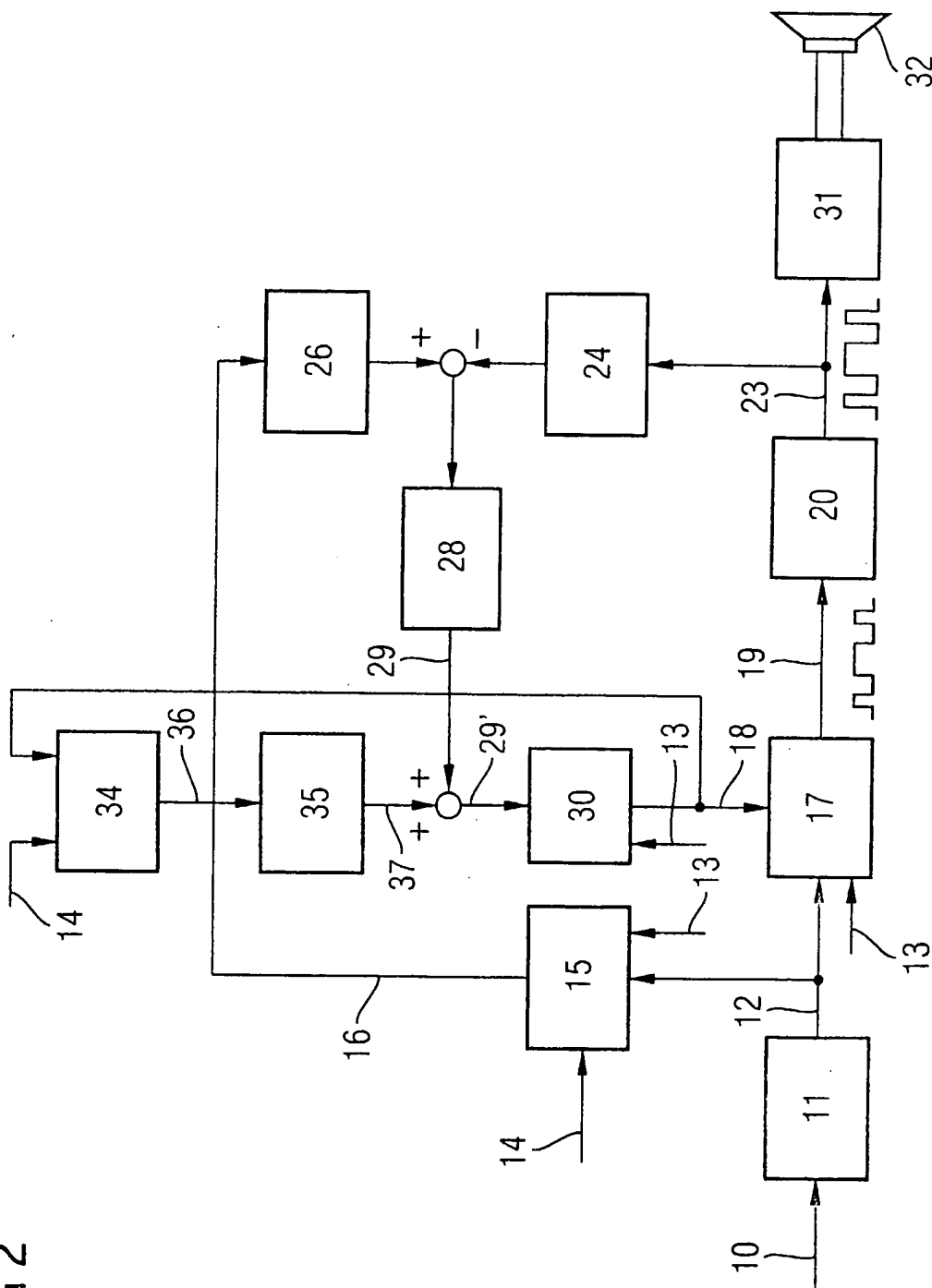


FIG 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/11954

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H03F3/217

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                   | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X          | US 6 124 757 A (NEWBY CHRISTOPHER)<br>26 September 2000 (2000-09-26)<br>figure 2                                     | 1,7-15                |
| A          | US 6 278 301 B1 (JONES III ROY CLIFTON ET<br>AL) 21 August 2001 (2001-08-21)<br>abstract; figures 1,2<br>---<br>-/-- | 1                     |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*A\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 February 2004

Date of mailing of the international search report

13/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Agerbaek, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/11954

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |  |                       |
|--|--|-----------------------|
| Category *   | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
| A  | <p>TAN M T ET AL: "A novel self-error correction pulse width modulator for a class D amplifier for hearing instruments" CIRCUITS AND SYSTEMS, 1998. ISCAS '98. PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MONTEREY, CA, USA 31 MAY-3 JUNE 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 31 May 1998 (1998-05-31), pages 261-264, XP010289656<br/> ISBN: 0-7803-4455-3<br/> the whole document<br/> -----</p> | 1,2                   |



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/11954

| Patent document<br>cited in search report |    | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date      |
|---|----|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| US 6124757                                | A  | 26-09-2000          | EP<br>WO                   | 0883928 A1<br>9820608 A1 |
|   |    |                     |                            | 16-12-1998<br>14-05-1998 |
| US 6278301                                | B1 | 21-08-2001          | NONE                       |                          |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11954

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>A. KLASSTFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b><br>IPK 7 H03F3/217   |  |   |
| Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK   |  |   |
| <b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b><br>Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)<br>IPK 7 H03F  |  |   |
| Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen  |  |   |
| Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)<br>EPO-Internal, PAJ  |  |   |
| <b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>  |  |   |
| Kategorie*  | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                       | Betr. Anspruch Nr.  |
| X   | US 6 124 757 A (NEWY CHRISTOPHER)<br>26. September 2000 (2000-09-26)<br>Abbildung 2                                      | 1,7-15  |
| A   | US 6 278 301 B1 (JONES III ROY CLIFTON ET AL)<br>21. August 2001 (2001-08-21)<br>Zusammenfassung; Abbildungen 1,2<br>-/- | 1   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie  |  |   |
| * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :<br>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist<br>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)<br>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht<br>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist<br>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist<br>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden<br>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist<br>"G" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |  |   |
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche<br>6. Februar 2004  |  | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts<br>13/02/2004 |
| Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5618 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016   |  | Bevollmächtigter Beauftragter<br>Agerbaek, T                      |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11954

| C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN |  |                    |
|--|--|--------------------|
| Kategorie*   | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile   | Betr. Anspruch Nr. |
| A  | <p>TAN M T ET AL: "A novel self-error correction pulse width modulator for a class D amplifier for hearing instruments" CIRCUITS AND SYSTEMS, 1998. ISCAS '98. PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MONTEREY, CA, USA 31 MAY-3 JUNE 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 31. Mai 1998 (1998-05-31), Seiten 261-264, XP010289656 ISBN: 0-7803-4455-3 das ganze Dokument</p> <p>-----</p> | 1,2                |

# INTERNATIONAL RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/11954

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |            | Datum der<br>Veröffentlichung |
|--|----|-------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------------------------|
| US 6124757   | A  | 26-09-2000                    | EP                                | 0883928 A1 | 16-12-1998                    |
|  |    |                               | WO                                | 9820608 A1 | 14-05-1998                    |
| <hr/>  |    |                               |                                   |            |                               |
| US 6278301   | B1 | 21-08-2001                    | KEINE                             |            |                               |
| <hr/>  |    |                               |                                   |            |                               |